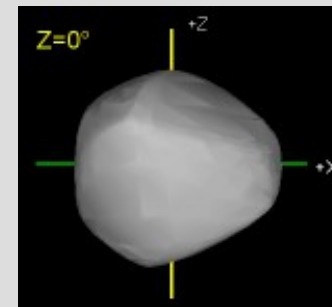
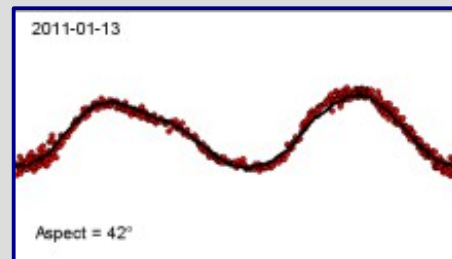
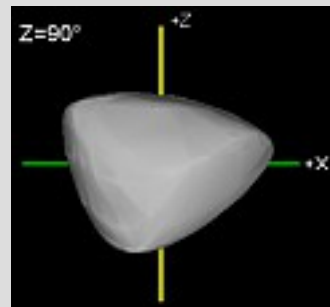


# Modellazione 3D Asteroidi



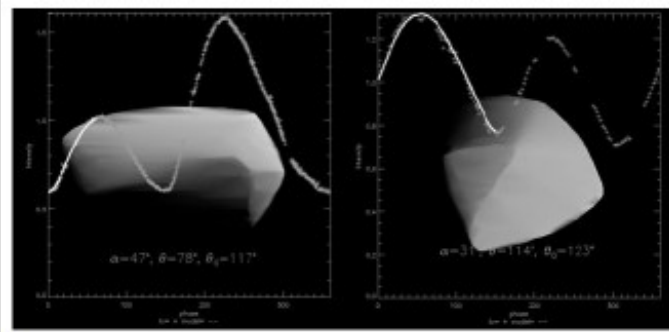
Meeting: Asteroidi, Meteore, Comete  
29-30 marzo 2014 – Arcetri (FI)



- Lorenzo Franco – *A81 Balzaretto Observatory, Rome*

# Premessa

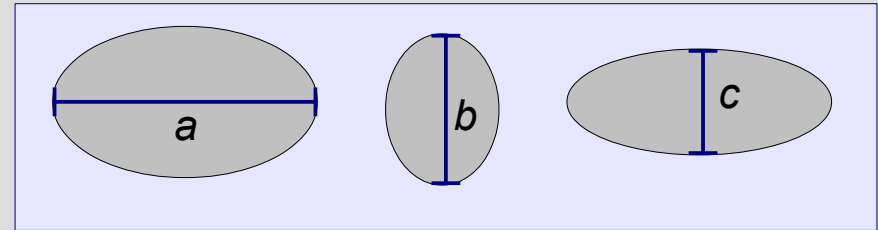
*Le curve di luce degli asteroidi, dovute principalmente agli effetti della rotazione dell'astro intorno al proprio asse, se osservate in diverse opposizioni e sotto diverse angolazioni, permettono di ricostruire l'orientazione dell'asse di rotazione e l'aspetto morfologico generale dell'asteroide.*



*Questa tecnica prende il nome di **inversione delle curve di luce** e rappresenta un settore della ricerca riservato, fino a non molti anni fa, esclusivamente ai professionisti, ed oggi aperto anche al contributo degli astrofili.*

# Curve di luce e Rotazione

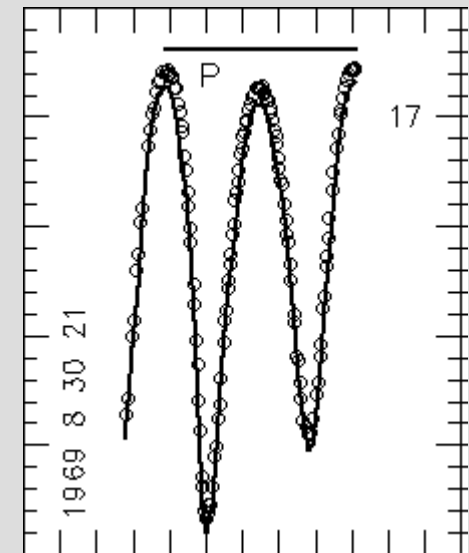
*Gli asteroidi si possono assimilare a degli ellissoidi triassiali ( $a \leq b \leq c$ ).*



*La rotazione intorno ad uno degli assi (di solito il minore) comporta variazioni continue e periodiche della luminosità, registrate nelle curve di luce.*



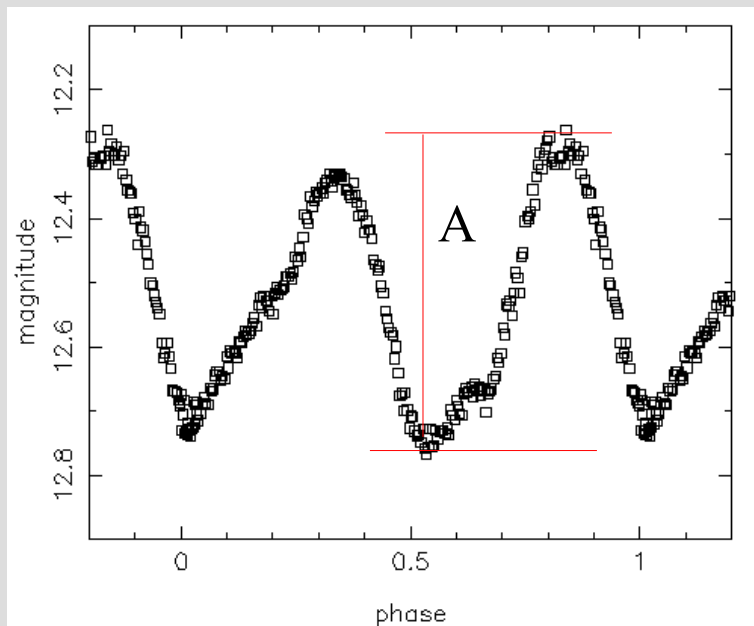
Asteroide  
Geographos



*Dall'analisi delle curve di luce è possibile ottenere il periodo di rotazione di un asteroide.*

# Curve di luce e Ampiezza

La curva di luce degli asteroidi ha generalmente un aspetto *bimodale* (due massimi e due minimi per ciclo), causato dalla loro forma allungata ed irregolare. Se la superficie fosse perfettamente sferica, la curva di luce risultante sarebbe piatta e senza alcuna variazione di luminosità.



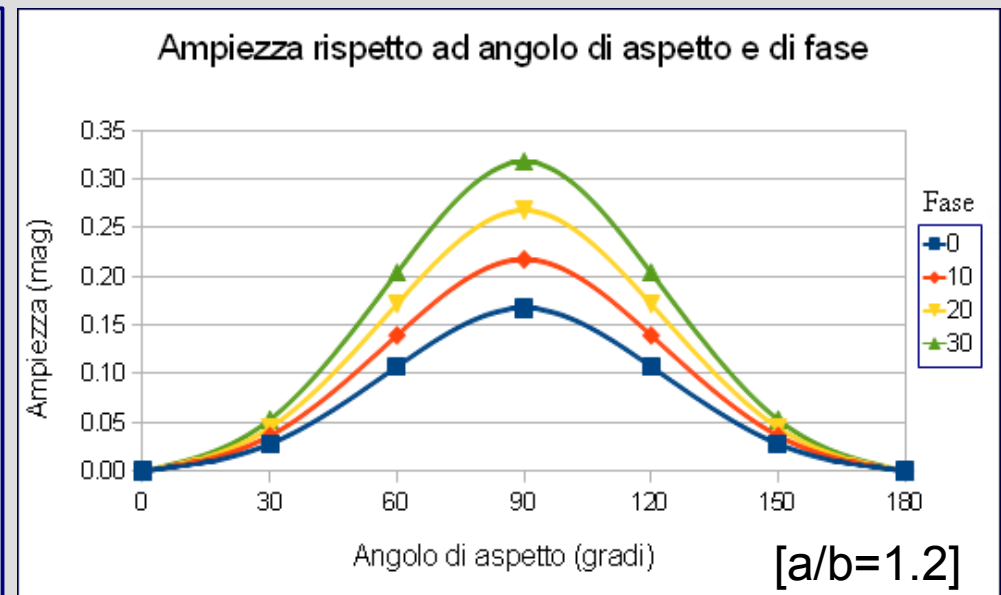
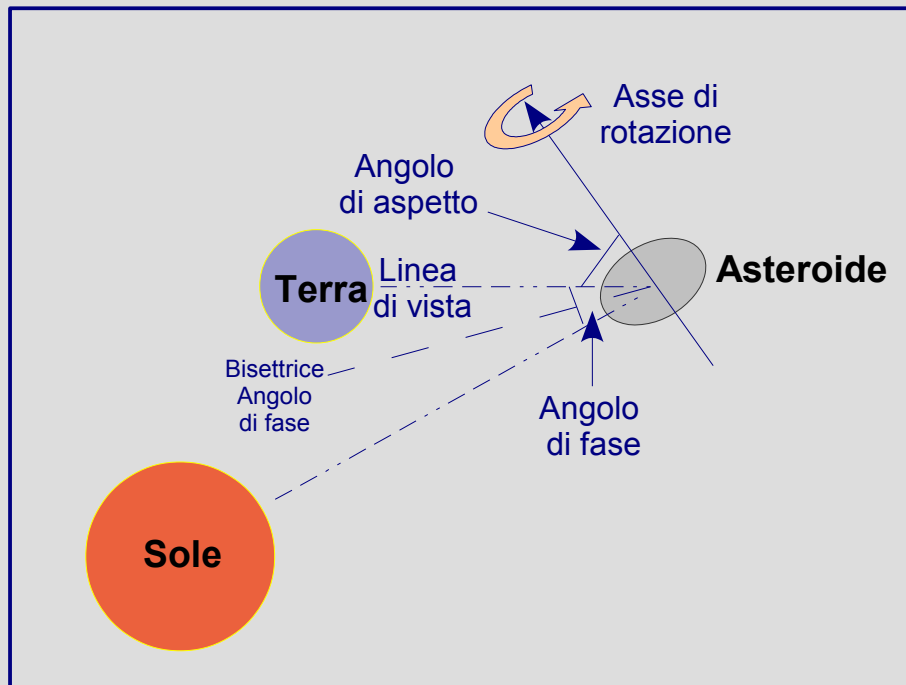
L'ampiezza della curva di luce  $A^{(1)}$  ci permette di stimare il limite inferiore del rapporto degli assi attraverso la relazione:

$$a / b = 10^{(A/2.5)}$$

(1) Ampiezza in magnitudini ad angolo di fase zero.

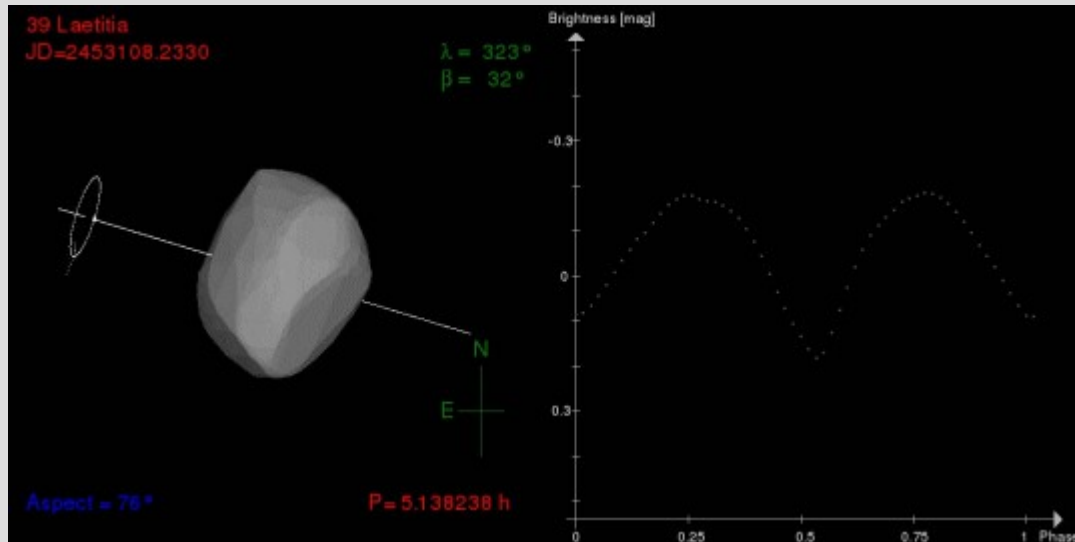
# Curva di luce e fase

*L'ampiezza e l'aspetto della curva di luce dipendono dall'angolazione con la quale l'asteroide si presenta ad una determinata apparizione.*



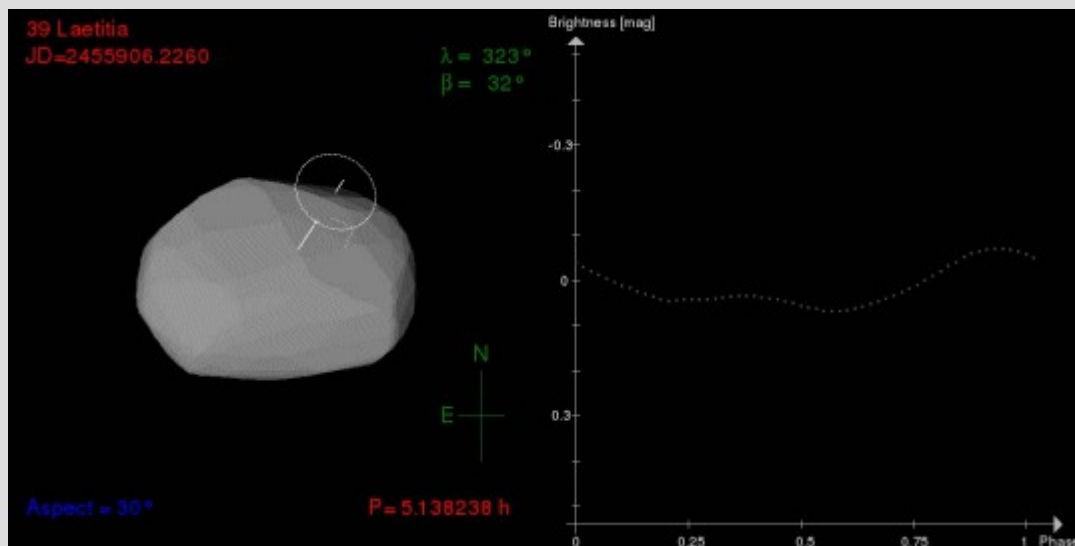
*L'ampiezza è quasi nulla quando l'asteroide si presenta con aspetto polare ( $0^\circ$ ) ed è massima quando si presenta con aspetto equatoriale ( $90^\circ$ ).*

# Curva di luce - esempio



## Asteroide 39 Laetitia

*Con un angolo di aspetto equatoriale di  $76^\circ$  la curva di luce si presenta bimodale e di grande ampiezza.*



*Invece con un angolo di aspetto polare di  $30^\circ$  la curva è quasi monomodale e di ampiezza molto ridotta.*

# Curva di luce - fattori dominanti

*La luminosità apparente di un asteroide (e le sue variazioni) dipendono da diversi fattori:*

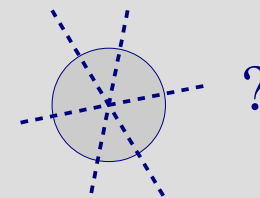
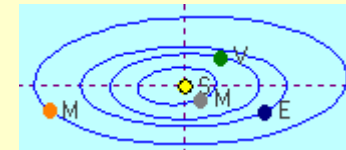
## *conosciuti*

- *Distanza dalla Terra e dal Sole*
- *La fase (angolo Sole-Asteroide-Terra)*

## *non conosciuti*

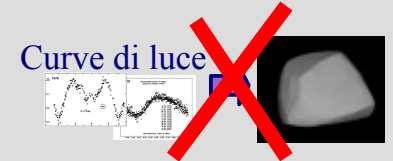
- *Orientamento dell'asse e periodo di rotazione.*
- *Proprietà della superficie (albedo)*
- *Aspetto morfologico*

## Aspetti geometrici (ricavati dai dati orbitali)

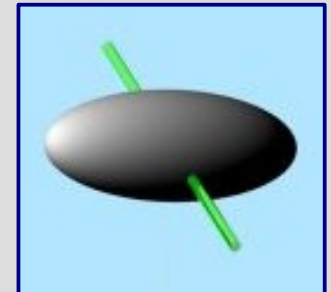


# Qualche riferimento storico

*Nel 1906 Henry Norris Russell riteneva fosse impossibile determinare l'aspetto di un asteroide partendo dalle curve di luce, poiché le macchie di albedo avrebbero potuto falsarne la ricostruzione.*



*Oggi si sa che gli asteroidi sono quasi uniformemente grigi e che le variazioni di albedo contribuiscono solo in piccola parte alle variazioni di luminosità registrate dalle curve di luce.*

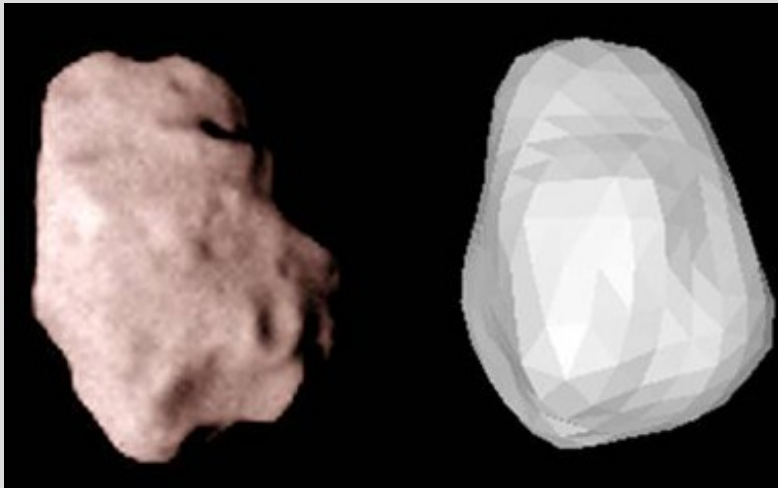


*Nel 2001 [Mikko Kaasalainen](#) e colleghi pubblicarono dei lavori che permisero di rivoluzionare il processo di inversione, assumendo che gli asteroidi fossero riconducibili (in prima approssimazione) a degli ellipsoidi **convessi** (privi di concavità).*



# Le verifiche

*Negli anni successivi i modelli ottenuti tramite il processo di inversione furono confrontati con quelli, ben più dettagliati, ottenuti dalle missioni spaziali, verificandone così la corretta corrispondenza morfologica generale.*



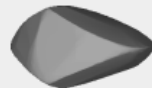
## **Asteroide 21 Lutetia**

*A sinistra l'immagine ottenuta dalla missione spaziale Rosetta (da 80.000 km), confrontata con il modello ricavato a terra attraverso il processo di inversione delle curve di luce.*

# I modelli

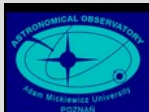
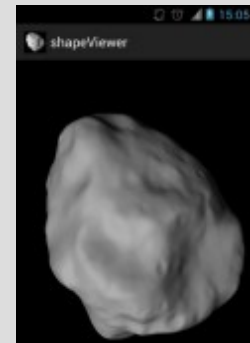
Oggi il numero di asteroidi dei quali si conosce l'aspetto morfologico è piuttosto ridotto. Il sito **DAMIT** (Database of Asteroid Models from Inversion Techniques) dell'università di Praga raccoglie i modelli di circa 380 asteroidi che possono essere visti nel loro aspetto 3D.

I modelli 3D possono essere esplorati interattivamente sul sito **ISAM** (Interactive service for asteroid models) dell'università di Poznań e sul sito **3D Asteroid Catalogue**. Infine con l'app gratuita **shapeViewer** per android è possibile portarsi in tasca i propri modelli 3D preferiti.

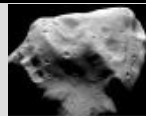


**DAMIT**

Database of Asteroid Models from Inversion Techniques – [more about DAMIT](#)

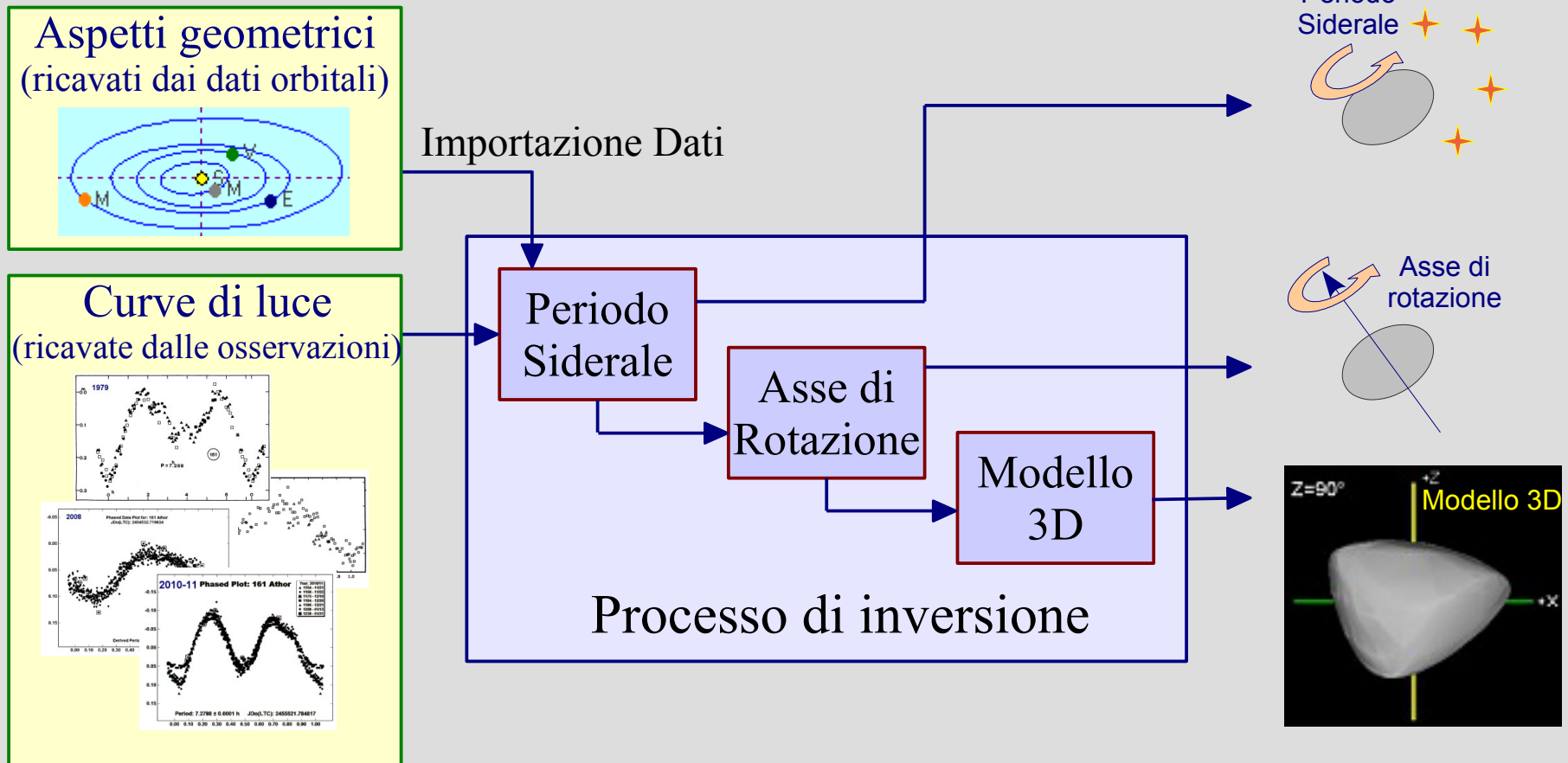


**Interactive service for asteroid models**

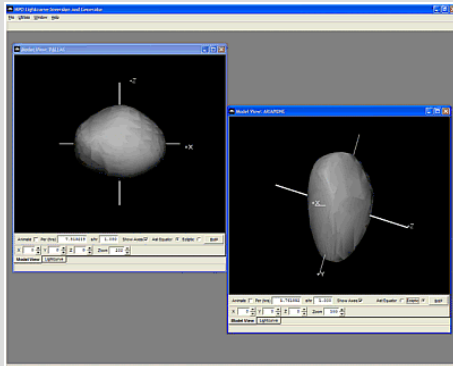


**3D Asteroid Catalogue**

# I passi del processo



# MPO LCInvert



*Il software **MPO LCInvert** implementa gli algoritmi ed il codice originale di Kaasalainen e Durech in una veste grafica piacevole ed amichevole. I modelli 3D ottenuti vengono visualizzati attraverso il supporto delle primitive grafiche di OpenGL.*

*Attraverso un apposito wizard, LCInvert guida l'utilizzatore nelle principali fasi e funzioni del processo: dalla importazione dati, alla fase di ricerca del periodo siderale, alla ricerca dell'orientazione del polo di rotazione ed infine al modello 3D.*

*Occorre comunque ricordare che è **molto facile** ottenere dei **risultati sbagliati**, fisicamente poco plausibili; per questo motivo è necessario confrontarsi con professionisti del settore prima di pubblicare i propri modelli.*

# LCInvert – importazione dati

*LCInvert permette di importare dati da diverse fonti ed in diversi formati, tenendo conto della eventuale correzione luce LTC (Light-Time Correction) e della magnitudine ridotta. E' possibile anche assegnare un peso al singolo set di dati, sulla base della loro qualità.*

The image displays three screenshots of the LCInvert software interface, each showing a different import method. The first screenshot shows the 'MPO CANOPUS IMPORT METHOD' with a list of lightcurves and controls for adding files and saving. The second screenshot shows the 'GENERIC FILE IMPORT METHOD' with a list of lightcurves and controls for adding files and saving. The third screenshot shows the 'KAASALAINEN IMPORT METHOD' with a list of lightcurves and controls for adding files, editing weights, and saving.

**MPO CANOPUS IMPORT METHOD**

SKIP THIS PAGE IF YOU DO NOT HAVE MPO CANOPUS FILES TO CONVERT.

The Canopus files MUST have light-time corrected JD.

Use the controls in the Lightcurves group box to manage the list of lightcurves read from Canopus files. All data must be for a single object. Do NOT

Lightcurves (Elements loaded)

|            |     |
|------------|-----|
| 2008/03/07 | 265 |
| 2008/03/21 | 267 |
| 2008/03/24 | 307 |
| 2008/03/31 | 270 |
| 2008/04/21 | 300 |
| 2008/03/17 | 33  |
| 2008/03/18 | 42  |
| 2008/03/19 | 45  |
| 2008/03/26 | 27  |
| 2008/03/28 | 73  |
| 2008/04/01 | 68  |

Condensed  
 ToFile  
 Reduced

MKF File: Save

Add File, Delete LC, Clear All

Previous, Next, Help, Cancel

**GENERIC FILE IMPORT METHOD**

SKIP THIS PAGE IF YOU DO NOT HAVE GENERIC DATA, e.g., SPARSE DATA FROM A SURVEY OR OTHER PROGRAMS.

See the manual/help for data requirements.

Use the controls in the Lightcurves group box to manage the list of lightcurves read from generic

Lightcurves (Elements loaded)

|            |     |
|------------|-----|
| 1979/05/01 | 11  |
| 1979/04/30 | 40  |
| 1979/05/03 | 28  |
| 1979/05/04 | 69  |
| 1982/03/19 | 120 |
| 1980/11/16 | 3   |
| 1980/11/06 | 7   |
| 1980/12/15 | 6   |

MKF File: Save

Add File, Delete LC, Clear All

Previous, Next, Help, Cancel

**KAASALAINEN IMPORT METHOD**

Load one or more Kaasalainen format files using the button next to the list of files.

The files you load can be those you just converted or those that were already in the Kaasalainen format

Lightcurves (Elements loaded)

|                      |      |         |
|----------------------|------|---------|
| 161_ATHOR_AstDys_spa | 0.30 | vWeight |
| 161 Athor_Harris_MKF | 0.50 | 1.00    |
| Observations_161_Ath | 1.00 |         |
| 161 Athor_Debehogne_ | 1.00 |         |
| 161 Athor_Carlsson_M | 1.00 |         |

Add Files, Edit Weight, Delete LC, Clear All

Number of Lightcurves: 31 Save List Load List

Previous, Next, Help, Cancel

# LCInvert – il periodo siderale

*Prima di avviare il processo di inversione è necessario determinare con notevole precisione il periodo di rotazione **Siderale**, ovvero il periodo di rotazione rispetto alle stelle fisse.*

Lightcurve Import and Inversion

**PERIOD SEARCH PARAMETERS**

If you don't know the period to sufficient accuracy, then you must do a period search about an approximate period.

Enter the search parameters if you want to do a period search.

|             |           |         |                                      |
|-------------|-----------|---------|--------------------------------------|
| Period Low  | 7.2790000 | Rows    | 8                                    |
| Period High | 7.2820000 | Param1  | 0.500 Free <input type="checkbox"/>  |
| Period Coef | 0.8000000 | Param2  | 0.100 Free <input type="checkbox"/>  |
| vWeight     | 0.50      | Param3  | -0.500 Free <input type="checkbox"/> |
| Degree      | 6         | Order   | 6                                    |
|             |           | Lambert | 0.100 Free <input type="checkbox"/>  |
|             |           | Stop    | 50                                   |

Out File: C:\images\Ahor\_PeriodSearch

Previous Next ? Help X Cancel

*MPO LCInvert implementa una apposita funzione di ricerca sulla quale si fornisce un intervallo, centrato sulla media dei periodi sinodici misurati nelle varie apparizioni.*

*L' algoritmo ricerca il periodo con il più basso valore di **ChiSq** che dovrà staccarsi almeno del 10% rispetto agli altri valori.*

# LCInvert – la ricerca del polo

*Una volta trovato il periodo siderale, sarà possibile ricercare l'orientazione del polo di rotazione.*

**Lightcurve Import and Inversion**

**INITIAL SEARCH PARAMETERS**

Now that lightcurve data are available, the next step is to give the inversion routine initial values. See documentation for details about each input parameter

Pole Search:  Coarse  Medium  Fine

Pole (L): -1.000 Free

Pole (B): 0.000 Free

Period: 7.28007660 Free  **Periodo Siderale trovato**

Epoch: 0.00000 Free

Rot Ang: 0.0

Weight: 0.50

Degree: 6 Order: 6

Rows: 8

Param1: 0.500 Free

Param2: 0.100 Free

Lambert: 0.100 Free

Stop: 50

Base Name: C:\images\Athor\_PoleSearch

Load ChiSq

Previous Next ? Help Cancel

*LCInvert ricerca l'orientazione del polo variando la latitudine e la longitudine eclittica ad intervalli più o meno ampi, ottenendo così una mappa con i valori di ChiSq ottenuti dal fit del modello con i dati reali.*

*Il polo di rotazione si trova con maggiore probabilità in corrispondenza dei valori di ChiSq più bassi (di colore blu).*

# Due casi concreti

*Vedremo adesso due casi concreti, dei quali ho avuto esperienza diretta:*

**161 Athor:** *in collaborazione con Frederick Pilcher (USA), David Higgins (Australia) e Josef Ďurech (Università di Praga, Repubblica Ceca).*

*Minor Planet Bulletin 39-4 ottobre-dicembre 2012*

**38 Leda:** *in collaborazione con Frederick Pilcher (USA), Josef Ďurech (Università di Praga, Repubblica Ceca).*

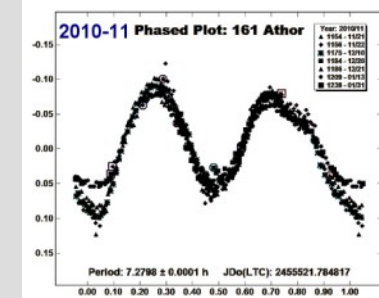
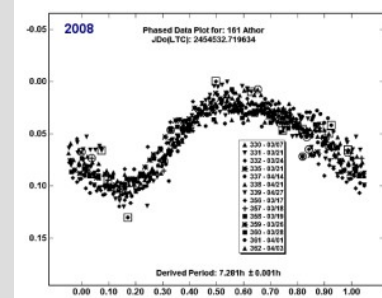
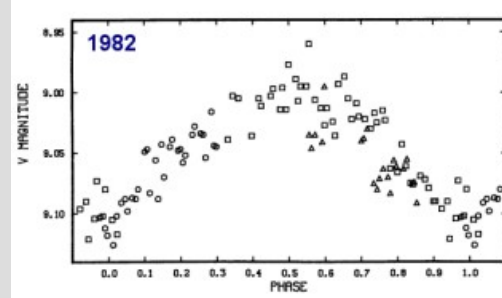
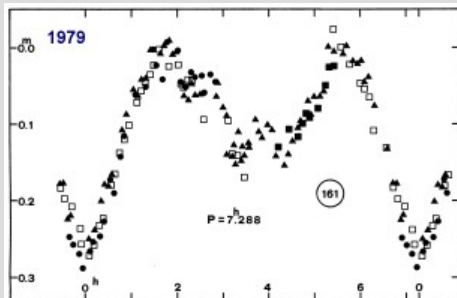
*Minor Planet Bulletin 40-4 ottobre-dicembre 2013*



# 161 Athor – i dati

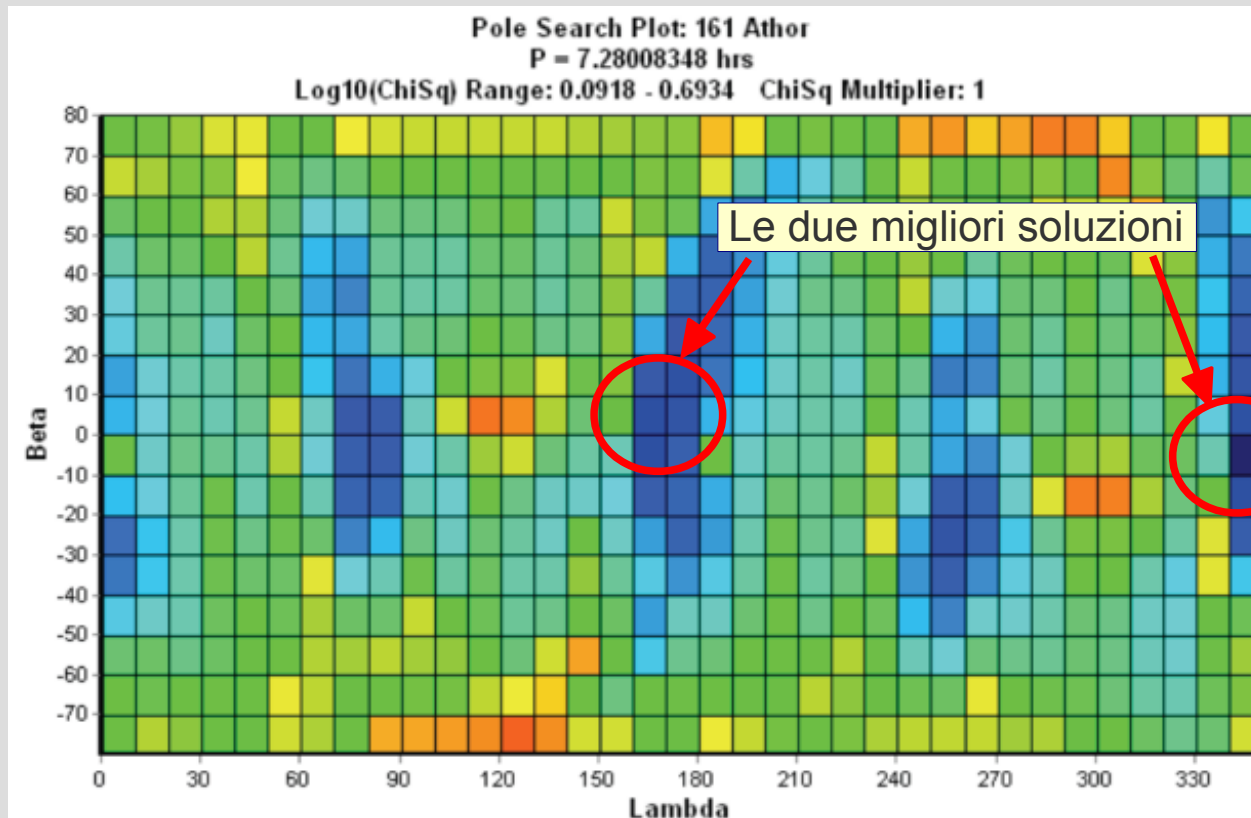
*161 Athor* è un asteroide di fascia principale (*M-type*) scoperto da James Craig Watson il 19 Aprile 1876 presso l' Osservatorio di Detroit con una dimensione stimata di circa **44 km**.

| Year      | PA°   | PABL°   | PABB° | Ref.                     |
|-----------|-------|---------|-------|--------------------------|
| 1979      | 11/9  | 238     | -7    | Debehogne and Zappala    |
| 1980      | 7/13  | 57      | 7/8   | Harris and Young         |
| 1982      | 9/11  | 159     | 7     | Carlsson and Lagerkvist  |
| 2008      | 11/10 | 191     | 3/1   | Pilcher and Higgins      |
| 2009      | 20/10 | 359/2   | -6/-5 | Pilcher and Higgins      |
| 2010-11   | 21/6  | 121/124 | 10/11 | Pilcher                  |
| 1998-2011 |       |         |       | Sparse data - USNO (689) |



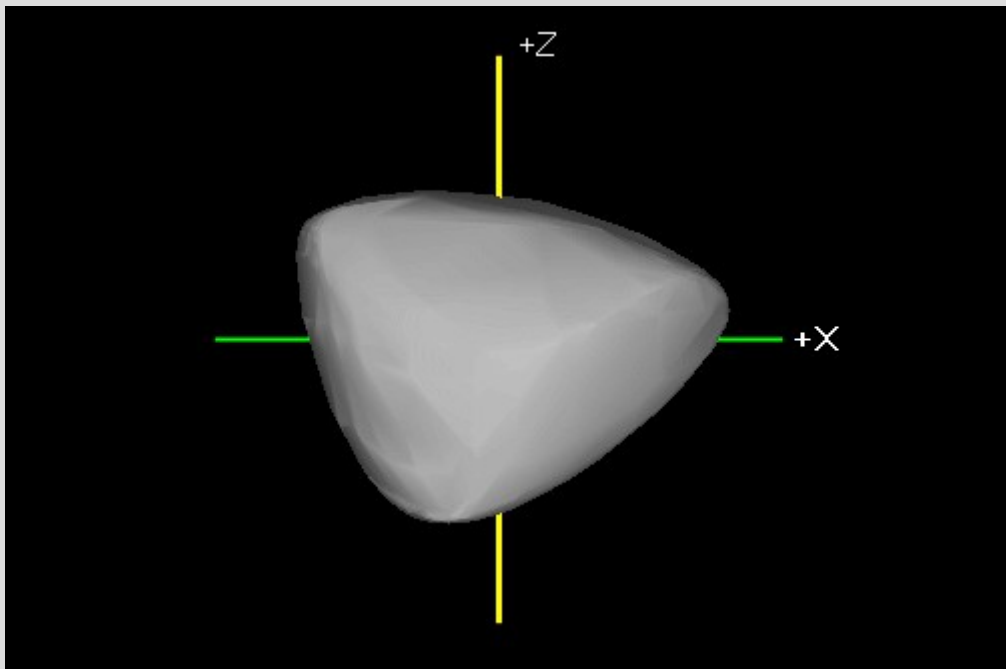
# 161 Athor – la soluzione del polo

La mappa mostra graficamente il risultato della ricerca dell'orientazione del polo di rotazione. Le aree **blu** rappresentano le soluzioni **migliori** (basso ChiSq), mentre le aree **rosse** quelle **peggiori**.



Sono state trovate **due soluzioni**, separate l'una dall'altra da **180° in longitudine**. Questa è una condizione abbastanza comune per gli asteroidi di fascia principale con bassa inclinazione orbitale.

# 161 Athor – il modello 3D



*Una volta definito il periodo siderale e l'orientazione del polo è stato finalmente possibile ottenere l'aspetto 3D dell'asteroide.*

$$P_{sid} = 7.280087 \text{ h} \pm 0.000005$$

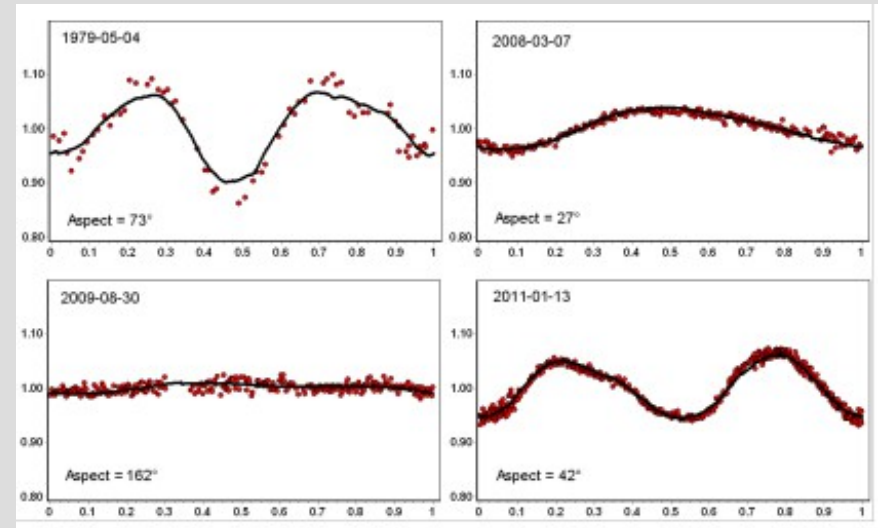
$$\lambda^\circ = 350 \quad \beta^\circ = -6$$

$$\lambda^\circ = 170 \quad \beta^\circ = 4$$

Si preferisce la prima soluzione.

*A destra il fit del modello (linea nera) con le curve di luce osservate (punti rossi).*

*Il modello è stato pubblicato sul sito DAMIT.*

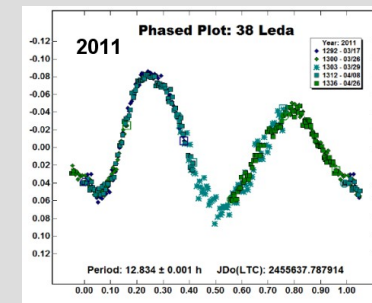
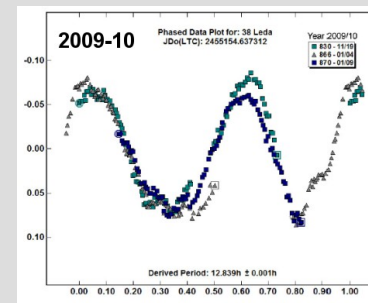
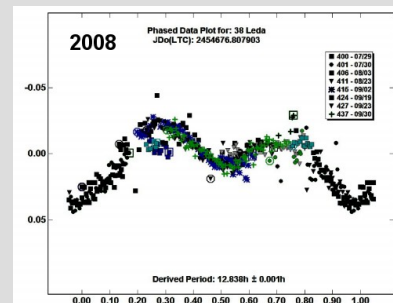
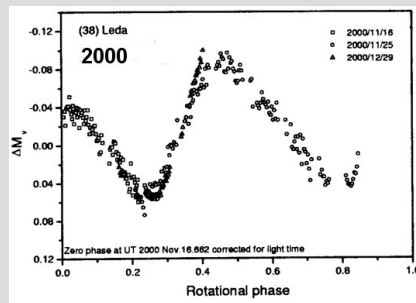


# 38 Leda – i dati

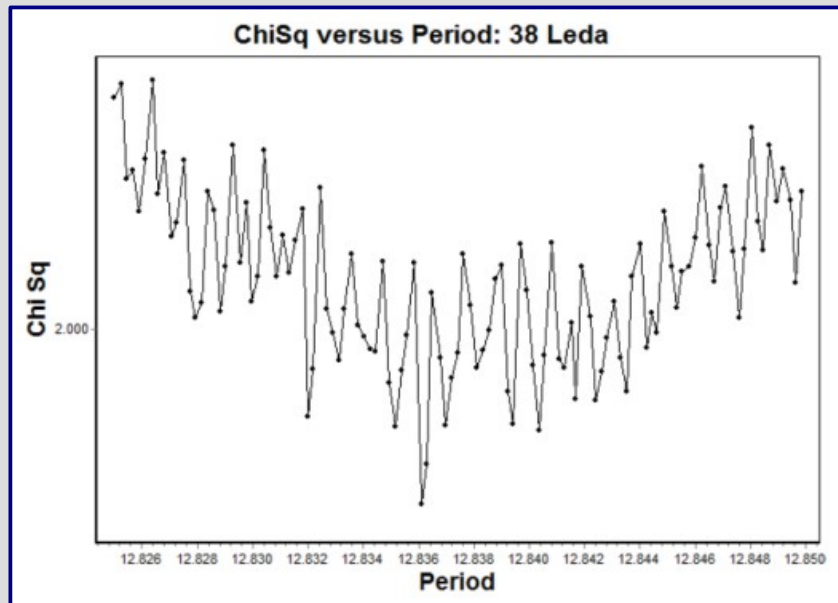
*38 Leda* è un asteroide di fascia principale (*C-type*) scoperto a Parigi da J. Chacornac il 12 January 1856, ha una dimensione stimata di circa *116 km*.

| Year    | PA <sup>°</sup> | PABL <sup>°</sup> | PABB <sup>°</sup> | Ref.                           |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| 1979    | 5/4             | 188               | -9                | Harris and Young               |
| 1995    | 10              | 27/28             | 9                 | Denchev, Magnusson and Donchev |
| 2000    | 17/14           | 89/90             | 5                 | Wang and Shi                   |
| 2008    | 9/14            | 329               | 4/5               | Pilcher                        |
| 2009-10 | 11/14           | 78/80             | 6/4               | Pilcher                        |
| 2011    | 14/4            | 211               | -9                | Pilcher                        |
| 2012    | 12/5            | 290               | -2/-1             | Pilcher                        |

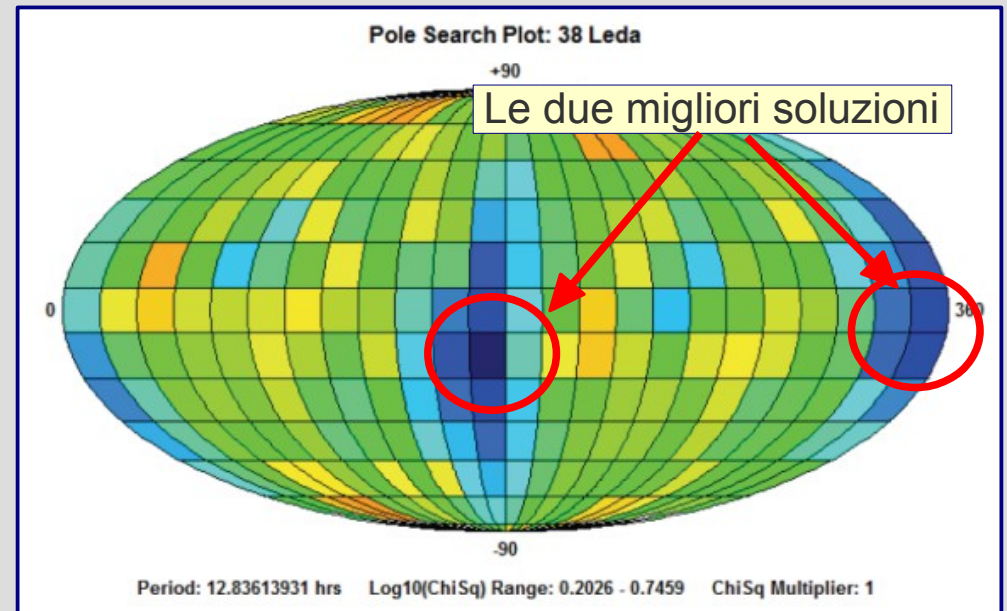
1998-2010 Sparse data - USNO (689)



# 38 Leda – periodo siderale e polo di rotazione

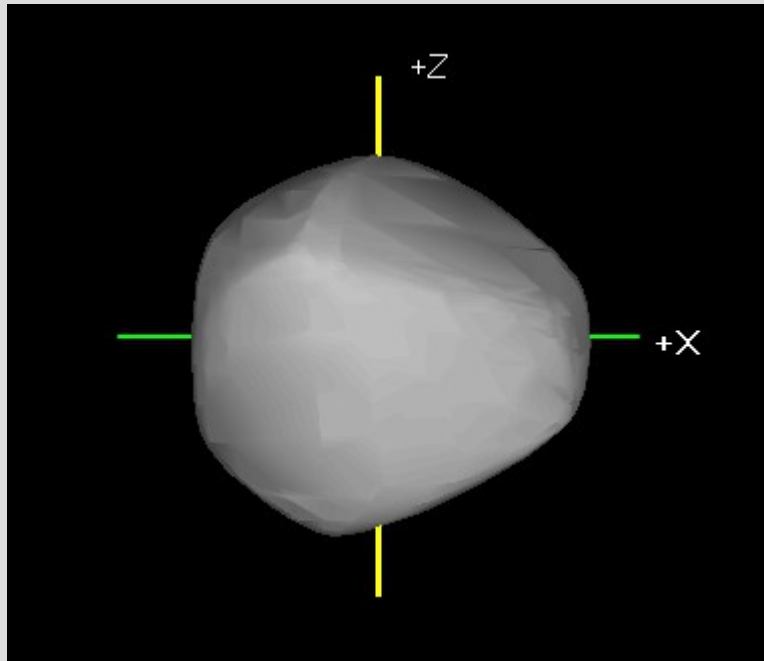


*La ricerca del periodo siderale mostra un minimo isolato con il più basso valore di ChiSq.*



*La ricerca del polo mostra due soluzioni simmetriche, separate da 180° in longitudine.*

# 38 Leda – il modello 3D

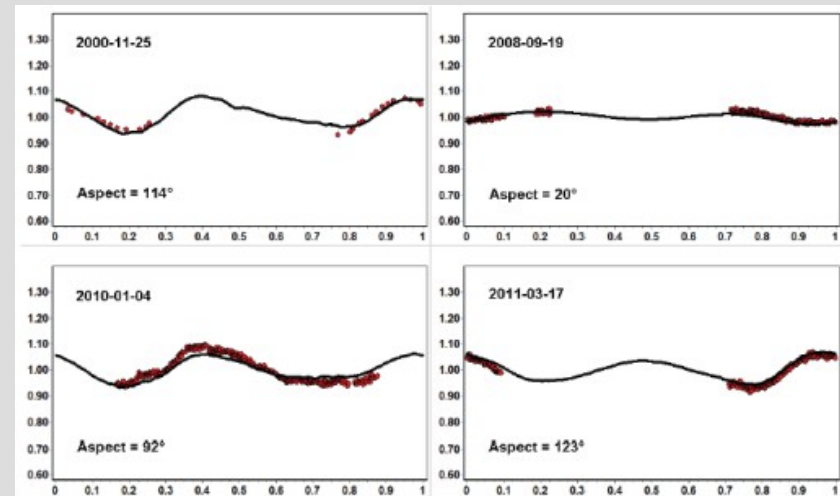


*Una volta definito il periodo siderale e l'orientazione del polo è stato finalmente possibile ottenere l'aspetto 3D dell'asteroide.*

$P_{sid} = 12.836164 \text{ h} \pm 0.000016$   
 $\lambda^\circ = 160 \quad \beta^\circ = -17$   
 $\lambda^\circ = 343 \quad \beta^\circ = -6$   
Si preferisce la prima soluzione.

*A destra il fit del modello (linea nera) con le curve di luce osservate (punti rossi).*

*Il modello è stato pubblicato sul sito DAMIT.*



# Qualche riferimento utile

- *Bdw Publishing (2011), <http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOLCInvert.htm>*
- *Ďurech, J. (2012), Database of Asteroid Models from Inversion Techniques (DAMIT). <http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php>*
- *Kaasalainen, M., Mottola, S. Fulchignoni, M., (2002), "Asteroid Models from Disk-integrated Data" in Asteroids III. 2002, 139-150.*
- *Kaasalainen, M., (2004). "Physical models of large number of asteroids from calibrated photometry sparse in time" Astronomy and Astrophysics 422, L39-L42.*
- *Warner, B. D., (2007), "Initial Efforts at Asteroid Lightcurve Inversion", SAS, 26th Annual Conference*
- *Interactive service for asteroid models: <http://isam.astro.amu.edu.pl/>*
- *3D Asteroid Catalogue: <http://space.frieger.com/asteroids/>*

# Domande

